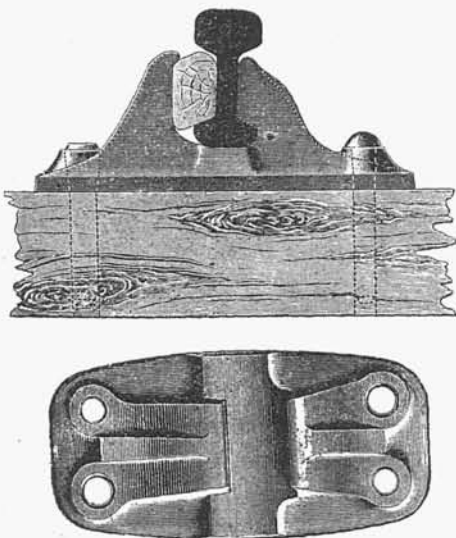


także szyny odpowiedniego przekroju, spoczywające bezpośrednio na podsypce.

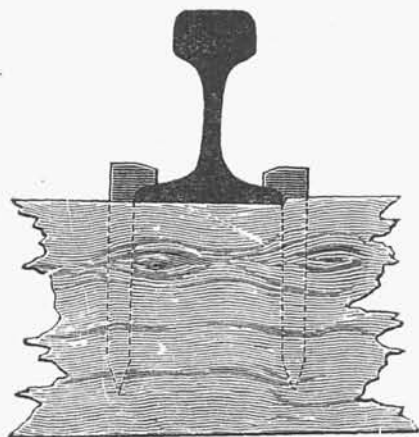
Oprócz ustroju podpór zwrócić należy uwagę również na materiał tychże, gdyż od niego zależy przeważnie sposób przymocowania szyny.

Ze wszystkich ustrojów budowy wierzchniej najwięcej rozpowszechniła się obecnie kolej z szyn Stephenson'a (rys. 148) lub Vignoles'a (rys. 149), ułożonych na podkładach poprzecznych drewnianych lub metalowych. Wskutek przyczyn, które będą przytoczone poniżej, układanie kolei na oddzielnych podporach, na legarach podłużnych oraz bezpośrednio na podsypce jest wogóle



Rys. 148.

Dr. żel. Lancashire-Yorkshire r. 1888.



Rys. 149.

mniej odpowiednie, aniżeli na podkładach poprzecznych, i dlatego wychodzi ono z użycia lub napotyka się tylko w razach wyjątkowych. Wobec tego ustroje budowy wierzchniej na podkładach poprzecznych, będąc praktycznie najważniejszymi, zasługują przede wszystkim na uwagę. Inne ustroje będą opisane w krótkości w końcu niniejszego działu.

### ROZDZIAŁ III.

#### Ogólny kształt kolei szynowej w planie i w przekroju.

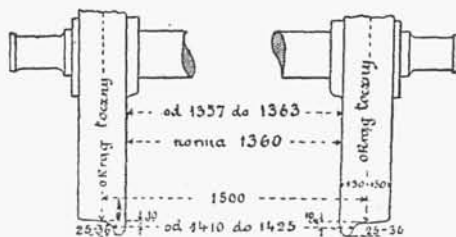
1. Szerokość toru w linii prostej. Luz między obrzeżem obręczy a szyną. Zboczenia od wymiarów normalnych szerokości toru i luzu; ich przyczyny. Poprzeczne pochylenie szyn. Położenie szyn na wysokość.

Stosownie do swego przeznaczenia, kolej powinna nie tylko podtrzymywać koło, lecz je również kierować.

Aby ruch zestawu kół po kolei szynowej był ściśle określony, potrzeba by było, żeby odległość między zewnętrznymi krawędziami obrzeży dokładnie od-

powiadała szerokości toru, t. j. odległości w świetle między główkami szyn. Warunek ten w rzeczywistości nie daje się zachować nietylko ze względu na szkodliwy opór ruchowi, jaki by przy tem powstał, lecz również ze względu na nieuniknione niedokładności w nasadzeniu kół na osie i odchyleniu szyn od położenia normalnego, oraz wskutek tego, że obręcze i szyny wzajemnie się ścierają. Z wymienionych powodów między obrzeżem obręczy a szyną niezbędny jest luz i dla bezpieczeństwa ruchu potrzeba tylko, aby luz ten nie przekraczał pewnych granic.

Na drogach żelaznych polskich o torze normalnym, zarówno jak na wielu zagranicznych, *normalna odległość w świetle między główkami szyn* powinna wynosić w torze prostym 1435 mm ( $4'8\frac{1}{2}''$ ), odległość zaś między krawędziami zewnętrznymi obręży obręczy<sup>1)</sup> może wahać się między 1425 mm i 1410 mm (rys. 150), w zależności od drobnych niedokładności w nasadzeniu obręczy i od bocznego zużycia obręży. Wynika stąd, że w torze prostym, utrzymanym w dobrym stanie, *luz między obrzeżem obręczy a szyną* może się wahać w granicach od 10 do 25 mm<sup>2)</sup>.

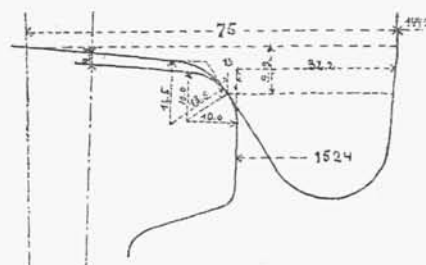


Rys. 150.

Wielkość luzu między obrzeżem obręczy a szyną staje się na niektórych drogach żelaznych zagranicznych nieokreśloną wskutek tego, że górne zaokrąglenia boczne główki szyny i przylegającej do nich powierzchni obręczy nie są na wszystkich drogach jednakowe. Jeżeli promień  $R$  zaokrąglenia pachwiny obręża jest większy niż promień  $r$  górnego zaokrąglenia bocznego główki szyny, to w położeniu uwidocznionem na rys. 151 i 152 luz między szyną a obrzeżem jest tylko pozorny, gdyż koło musiałoby unieść się nad powierzchnią toczną szyny, aby mogło zbliżyć się do niej obrzeże.



Rys. 151.



Rys. 152.

Nie ulega wątpliwości, że jeżeli luz pomiędzy obrzeżem a szyną będzie mniejszy, to wahania boczne zestawu kół też się zmniejszą, a zatem i jazda po

<sup>1)</sup> Wymiary te są mierzone na poziomie o 10 mm niżej okręgów tocznych kół, otrzymanych z przecięcia obręczy płaszczyznami pionowymi i równoległymi do osi podłużnej pojazdu, oddalonymi od siebie o 1500 mm (por. rys. 150).

<sup>2)</sup> Na kolejach wąskotorowych luz ten waha się w granicach od 5 do 20 mm (P. T. M.).

szynach będzie spokojniejsza. Pomimo to na niektórych drogach żelaznych zagranicznych luz normalny między obrzeżem obręczy a szyną jest większy niż na drogach polskich i np. na drogach żelaznych francuskich wynosi 22 do 25 mm. Wogóle należy uważać, że ważniejsze jest ograniczenie wahań w wielkości luzu, pochodzących wskutek zużycia lub przyczyn przypadkowych, aniżeli ograniczenie absolutnej jego wielkości normalnej, ponieważ ściśle określenie wielkości luzu jest niezbędne, jak to zobaczymy później, do właściwego urządzenia toru w łukach i w rozjazdach.

Ograniczenie zużycia obrzeża obręczy wymaga częstszego ich obtaczania, a więc kosztu tej roboty zależy będą od dozwolonego zużycia obrzeża.

*Zboczenia od normalnego nasadzenia obręczy na kołach* dopuszczone są na drogach żelaznych polskich do 3 mm w każdą stronę.

Co się zaś tyczy zużycia bocznego główki szyny, to wogóle postępuje ono dość wolno i różnice w szerokości toru, powstałe z tej przyczyny, nikną przy usuwaniu zboczeń od normalnego położenia szyn, wywołanych ruchem pociągów.

Pod działaniem uderzeń bocznych i pionowego ciśnienia koła szyna może zmienić swoje położenie na podporach, do których jest przymocowana mniej lub więcej sztywno, a mianowicie może się przesunąć po nich, obrócić około osi podłużnej i wtłoczyć w podpory, o ile tym ruchom nie przeszkodzi umocowanie szyny na podporach. Wymienione przyczyny mogą wywołać poszerzenie toru, a w pewnych razach także i jego zwężenie. Dla usunięcia takich odkształceń konieczne jest poprawienie toru, polegające na doprowadzeniu szyn do położenia normalnego i na ponownym przymocowaniu ich do podpór. *Zboczenia od normalnej szerokości toru*, przy których jego poprawienie staje się niezbędnym, określa się odpowiednio do wskazówek praktyki. Na drogach żelaznych polskich poszerzenie nie powinno przewyższać 10 mm, zwężenie zaś 3 mm.

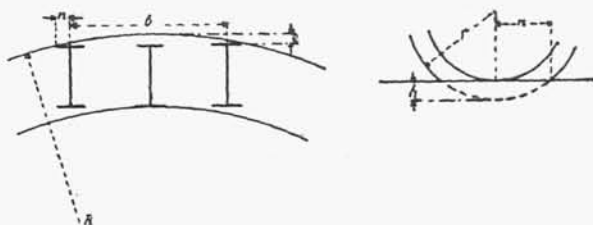
W dziale II, rozdz. I, p. 2 podano przyczyny, dla których obręcze kół obtaczane są stożkowato. Odpowiednio do takiego obtaczania obręczy, oraz dla nadania szynom większej stałości przeciw parciu do zewnątrz toru pod działaniem bocznych uderzeń kół, szyny układane są z pochyleniem poprzecznym ku osi toru.

*Pochylenie poprzeczne szyny* wynosić winno na drogach żelaznych polskich 1:20 i taka też stożkowatość przyjęta jest dla obręczy kół. Na niektórych drogach żelaznych zagranicznych pochylenie poprzeczne szyn i stożkowatość obręczy dochodzą do 1:16, na innych zaś (np. w Stanach Zjednoczonych A. P.) szyny nie mają pochylenia poprzecznego i obręcze obtaczane są cylindrycznie.

*Poziom szyn.* W torze prostym obie szyny powinny leżeć w jednym poziomie. Proponowane przez niektórych podwyższenie jednej szyny względem drugiej, dla otrzymania spokojniejszej jazdy (zmniejszenie wężykowania), nie osiąga celu, jak przekonały spostrzeżenia, a nawet powinno być uznane za szkodliwe ze względu, że szyna położona niżej będzie więcej obciążona, a więc kolej szynowa pracować będzie nierównomiernie.

2. Poszerzenie toru normalnego i podwyższenie szyny zewnętrznej w łukach. Rozważania teoretyczne. Wpływ tarcia na nacisk boczny koła w łukach. Wzory doświadczalne.

Warunki ruchu po łukach były już omówione w rozdziale I działu II-go. Tu zastanówić się wypadnie nad niezbędną szerokością toru w łukach.



Rys. 153.

Jeżeli wystawimy sobie (rys. 153) przecięcie poziome trzech zestawów kół wagonu trzyosiowego w płaszczyźnie toczenia się kół i oznaczmy przez  $R$  promień łuku,  $b$  rozstaw osi skrajnych nieruchomych,  $r$  promień obręczy w obwodzie obręcza,  $h$  wysokość obręcza obręczy, to aby przejście wagonu po łuku było możliwe, niezbędne jest, aby luz między obrzeżem obręczy a szyną był nie mniejszy jak

$$E = \frac{(b + 2n)^2}{8R} = \frac{(b + 2\sqrt{(2r - h)h})^2}{8R} \approx \frac{(b + 2\sqrt{2rh})^2}{8R} \quad (112)$$

Rozstaw osi skrajnych w wagonach trzyosiowych toru normalnego nie przewyższa zwykle 7,5 m. Promień koła i największą wysokość obręcza można przyjąć  $r = 0,55$  m i  $h = 0,036$  m. Jeżeli podstawimy te wielkości we wzór (112), to otrzymamy, w przypuszczeniu, że oś środkowa nie może się przesuwąć w swym kierunku,

$$E = \frac{8}{R} \quad (113)$$

W tym wzorze  $E$  i  $R$  są wyrażone w metrach.

Jeżeli przypuścimy, że oś środkowa może przesuwąć się w swym kierunku co najmniej na 10 mm w każdą stronę, to niezbędny luz jest o tyleż mniejszy od luzu określonego podług wzoru (113), czyli wynosi:

$$E = \frac{8}{R} - 0,01 \quad (114)$$

Ponieważ nadto luz w torze prostym wynosi co najmniej 10 mm, więc dla możliwości przejścia taboru nie potrzeba poszerzać toru w łuku, którego promień czyni zadość warunkowi

$$R \geq \frac{8}{0,01 + 0,01} \text{ albo } R \geq 400 \text{ m}$$

Określenie powyższe promienia końcowego stosuje się do przypadku, kiedy koła zaledwie że nie więzną w torze, a więc w praktyce nie może być dopuszczane. Pożądane zaś jest, aby luz normalny, zachowywany w torze prostym, pozostał również w łukach. Jeżeli chcemy zachować ten warunek, to



być odpowiednio zwiększona. Zwiększenie to nie powinno jednak przewyższać 30 mm na drogach żelaznych pierwszorzędnych i 35 na drugorzędnych. Szerokość toru, łącznie z odstępstwami, jakie mogłyby powstać w niej wskutek ruchu pociągów, nie powinna w żadnym razie być większa jak 1465 mm na drogach żelaznych pierwszorzędnych i 1470 mm na drugorzędnych (zgodnie z umową międzynarodową o jednostki technicznej).

Poszerzenie w łukach przyjęte na drogach polskich o torze normalnym wynosi w zależności od promienia łuku:

przy promieniu od	150	201	301	401	601	801 m
" " do	200	300	400	600	800	1000 m
poszerzenie . . .	30	25	20	15	10	5 mm

Szerokość obręczy winna wynosić nie mniej jak 130 mm. Obręcz winna zachodzić na szynę co najmniej 45 mm swojej szerokości.

Komisja techniczna Związku niemieckiego dróg żelaznych zaleca następujące wzory empiryczne na poszerzenie w łukach toru różnej szerokości:

$$\begin{aligned} 1,435 \text{ m} \quad e &= \frac{(1000 - R)^2}{30\,000} & \text{max. } e &= 30 \text{ mm} \\ 1,0 \text{ m} \quad e &= \frac{(600 - R)^2}{16\,000} & \text{max. } e &= 25 \text{ mm} \\ 0,75 \text{ m} \quad e &= \frac{(400 - R)^2}{8\,000} & \text{max. } e &= 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

*Podwyższenie szyny zewnętrznej w łukach.* W celu przeciwdziałania sile odśrodkowej, która objawia się przy przejściu taboru po łukach, przyjęto układać szynę zewnętrzną łuku wyżej od wewnętrznej.

Siła odśrodkowa  $S$  przy promieniu  $R$ , masie  $M$  i szybkości ruchu na sekundę  $v$  wyraża się wzorem

$$S = \frac{Mv^2}{R}.$$

Jeżeli szyna zewnętrzna będzie podwyższona względnie do wewnętrznej o wielkość  $h$  (rys. 154), to ciężar  $Mg$  da siłę składową poziomą

$$Mg \operatorname{tg} \alpha \propto \frac{Mgh}{s}.$$

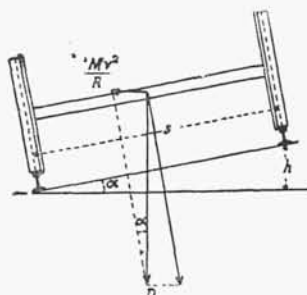
W tym wzorze oznacza  $g$  przyspieszenie siły ciężkości i  $s$  odległość między osiami szyn. Jeżeli postawimy warunek, aby ta składowa pozioma w zupełności równoważyła siłę odśrodkową, t. j. aby

$$\frac{Mv^2}{R} = \frac{Mgh}{s},$$

to podwyższenie szyny zewnętrznej powinno wynosić:

$$h = \frac{sv^2}{gR} \dots \dots \dots (116)$$

Jeżeli wyrazimy szybkość w  $km/godz.$  zamiast w  $m/sek.$  i podstawimy  $g = 9,81 m$  to podwyższenie  $h$  wyrazi się w  $mm$ :





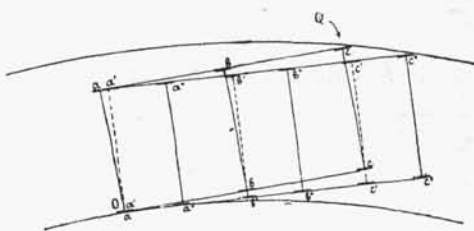
dla toru normalnego  $s \approx 1500 \text{ m}$

$$h = 11,8 \frac{V^2}{R} \dots \dots \dots (117)$$

Gdyby podwyższenie  $h$ , określone podług powyższego wzoru, było niezbędne dla bezpieczeństwa ruchu, to pod szybkością  $V$  należałoby rozumieć szybkość największą, jaka jest stosowana na danym łuku. Jednakże wtedy wszystkie pociągi, idące wolniej, będą silniej obciążały wewnętrzny (niższy) tok łuku, wywierając parcie boczne na szyny tegoż toku i starając się wywrócić je w kierunku do środka łuku, oraz powodując silne zużycie boczne tychże szyn.

Należy zauważyć, że we wzorze (116) nie brano pod uwagę tego, że siła odśrodkowej przeciwdziała oprócz podwyższenia szyny zewnętrznej również *tarcie pomiędzy kołem a szyną*, wynoszące co najmniej 0,1 ciśnienia koła. Z drugiej strony wiadomem jest, że ruch taboru po łukach zależy od innych jeszcze czynników, przeważnie zaś od równoleżności osi, skutkiem której ciśnienie kół przednich na tok zewnętrzny znacznie się zwiększa.

Wystawmy sobie, że parowóz trzyosiowy o rozstawie osi  $ab = bc = \frac{l}{2}$  (rys. 155) i ciężarze  $P$ , rozłożonym równomiernie na wszystkie trzy osie, toczy się po łuku. Przesunięcie się parowozu z położenia  $abc$  do położenia  $a''b''c''$



Rys. 155.

można sobie wystawić jako składającą się z ruchu obrotowego około punktu  $O$  pod wpływem ciśnienia szyny zewnętrznej na koło przednie (por. str. 69), usiłującego skierować oś taboru w kierunku promienia łuku, przyczem parowóz przyjmuje położenie  $a'b'c'$ , oraz z ruchu postępowego z położenia  $a'b'c'$  do położenia  $a''b''c''$ . Aby obrócić paro-

wóz około punktu  $O$ , ciśnienie  $Q$ , działające w kierunku promienia ku środkowi łuku, powinno przewyższyć tarcie  $Pf$  obręczy kół o szyny i siłę odśrodkową

$$S = \frac{Mv^2}{R} = \frac{Pv^2}{gR},$$

przyczepioną do środka ciężkości parowozu. Równanie momentów tych sił będzie następujące:

$$\left. \begin{aligned} Ql &= \frac{P}{3} \left( l + \frac{l}{2} \right) f + S \cdot \frac{l}{2} \dots \dots \dots \\ Q &= \frac{P}{2} f + \frac{S}{2} = \frac{P}{2} \left( f + \frac{v^2}{gR} \right) \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} (118)$$

Jeżeli szyna zewnętrzna otrzyma podwyższenie podług wzoru (116), t. j. równoważące siłę odśrodkową, to ciśnienie dośrodkowe, wyrażone wzorem (118), będzie:

$$Q_1 = \frac{P}{2} f \dots \dots \dots (119)$$

Współczynnik  $f$  tarcia obręczy o szyny wynosi co najmniej 0,1. Przyjmując np. szybkość  $v = 14 \text{ m/sek.}$  ( $50 \text{ km/godz.}$ ) i  $R = 600$ , otrzymamy:

$$\frac{Q_1}{Q} = \frac{0,1}{0,1 + 0,033} = 0,75$$

czyli że podwyższenie szyny zewnętrznej, obrachowane podług wzoru (116), zmniejsza boczne ciśnienie na tę szynę przedniego koła tylko o 25%.

Okazuje się więc, że podwyższenie szyny zewnętrznej w łuku, obrachowane podług wzoru (116) zmniejsza w pewnym tylko stopniu parcie przednich kół taboru na tę szynę, lecz nie usuwa go w zupełności. Podwyższenie zaś szyny zewnętrznej ponad wypadające z wzoru (116) nie może być dopuszczone, gdyż spowodowałoby mogło wywrót szyny wewnętrznej w kierunku ku środkowi łuku, oraz ze względu na niedogodności, związane z urządzeniem przejścia od normalnego położenia szyn w linii prostej do znacznego podwyższenia jednej z nich na łuku. W istocie, na długości rzeczonego przejścia powierzchnia, po której toczą się koła, jest skośna. Z tego powodu oraz wskutek sztywności ram parowozów i wagonów, przednie koła zewnętrzne przy wyjściu z łuku mogłyby wznieść się nad płaszczyznę toczną w razie zbiegu okoliczności nieprzychylnych, zwłaszcza przy hamowaniu pociągu.

Z drugiej strony, jak to wyjaśniły doświadczenia i praktyka niektórych dróg zagranicznych, przy przechodzeniu pociągów po łuku, ułożonym bez podwyższenia szyny zewnętrznej, niebezpieczeństwo wykołowania się nie grozi im nawet przy znacznych szybkościach ruchu.

Wobec tego zauważyć się daje dążenie do zmniejszenia w łukach podwyższenia szyny zewnętrznej, określanego podług wzoru (116), do czego przyczynia się również i ta okoliczność, że w miarę wzrastania szybkości pociągów wzór ten daje wielkości, które nie mogą być dopuszczone z powodu wyżej wskazanych przyczyn. Ponieważ nadto niemożliwe jest tak wybrać podwyższenie szyny zewnętrznej, aby ono odpowiadało wielorakim i często zmieniającym się warunkom szybkości pociągów, odległości między osiami, ich obciążeniu, współczynnikowi tarcia i t. p., więc dla wyznaczenia tego podwyższenia są obecnie w użyciu przeważnie wzory doświadczalne kształtu:

$$h = n \cdot \frac{V}{R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (120)$$

We wzorze tym  $V$  oznacza największą dopuszczalną szybkość pociągu w  $\text{km/godz.}$ , a  $R$  promień łuku w  $m$ . Współczynnik  $n$  przyjmuje się 0,5 do 0,7 w zależności od warunków miejscowych. Przy  $V = 40$  do  $60 \text{ km/godz.}$ , wzór ten daje rezultaty zbliżone do otrzymywanych podług wzoru (116), lecz przy dalszym zwiększaniu się szybkości wielkość podwyższeniu wzrasta w mniejszym stosunku.

Z tego, co powiedziano wyżej, należy wyprowadzić wniosek, że na podwyższenie szyny zewnętrznej w łukach należy zapatrywać się nie jako na środek bezwzględnie nieodzowny dla bezpieczeństwa ruchu, lecz raczej jako na



środek osiągnięcia możliwie równomiernej pracy obydwóch toków szynowych i spokojnej jazdy.

Według przepisów polskich (P. T. O.), na drogach żelaznych znaczenia ogólnego szyna zewnętrzna winna być na łukach wzniesiona nad szyną wewnętrzną na wysokość, zależną od promienia łuku i od prędkości pociągów, tak, aby praca obydwóch toków była możliwie jednakowa. Tak określone podwyższenie szyny zewnętrznej winno być całkowite już na początku łuku kołowego.

3. Przejście od normalnego położenia szyn w linii prostej do położenia przyjętego w łukach. Krzywe przejściowe. Wytykanie krzywych przejściowych na liniach, na których nie były przewidziane przy budowie. Sposoby praktyczne. Zaokrąglenia przekroju podłużnego w punktach załamania.

Podwyższenie szyny zewnętrznej oraz poszerzenie toru w łuku mogą być wykonane oczywiście tylko stopniowo. Powyżej wskazano już na niebezpieczeństwo, jakie może grozić taborowi wskutek tego, że przy przejściu od prostej do łuku szyny przeciwległe nie są położone w jednej płaszczyźnie. Przyjmujemy, że największy rozstaw sztywnych osi wagonu wynosi 7,5 m, wysokość zaś obrzeża nowej obręczy 25 mm. Aby koło, które z jakiegokolwiek powodu zachowuje położenie niezmiennie względem ramy pojazdu, zabezpieczone było od zejścia z toru przynajmniej 5 milimetrami wysokości obrzeża, niezbędne jest, ażeby pochylenie szyny zewnętrznej przy przejściu od łuku do prostej wynosiło co najwyżej

$$\frac{0,025 - 0,005}{7,5} = \frac{1}{375}$$

Dla spokoju jazdy pochylenie to przyjmuje się zwykle 0,001 do 0,002.

Ponieważ już na początku łuku podwyższenie szyny zewnętrznej powinno odpowiadać jego promieniowi, więc przejście od normalnego położenia szyny do podwyższonego powinno być urządzone przed początkiem łuku, czyli w linii prostej przed punktem jej styczności z łukiem.

Podwyższenie szyny zewnętrznej możemy osiągnąć, albo utrzymując szynę wewnętrzną w położeniu normalnym, lub też opuszczając ją o połowę potrzebnego podwyższenia i podwyższając o tyleż szynę zewnętrzną. Ostatni sposób jest teoretycznie racjonalniejszy, ponieważ przy jego zastosowaniu środek ciężkości pojazdu nie zmienia wysokości przy przejściu z linii prostej na krzywą. Jednakże z powodu obniżenia szyny wewnętrznej zmniejsza się grubość warstwy podsypki pod końcami podkładów, położonemi z tej strony, co źle wpływa na stateczność toru. Aby tego uniknąć, zwykle podwyższa się tylko szynę zewnętrzną, zostawiając wewnętrzną na wysokości normalnej.

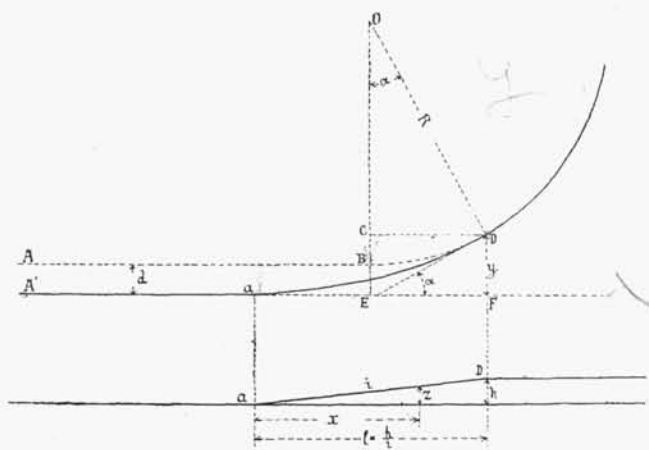
Co się tyczy poszerzenia toru, to otrzymuje się ono przez przesunięcie szyny wewnętrznej ku środkowi łuku. Szyna zewnętrzna, która nadaje kierunek kołom przednim, powinna zachowywać odległość normalną od osi łuku.

Poszerzenie toru, również jak i podwyższenie szyny zewnętrznej, powinny być całkowite już w punkcie styczności linii prostej z łukiem, a zatem przejście od szerokości toru normalnej do poszerzonej powinno być skuteczne w linii prostej przed początkiem łuku na długości 1 lub 2 szyn.

Według przepisów polskich (P. T. O.), różnicę w położeniu obu szyn (przechyłkę toru) na przejściach od łuku do prostej należy wyrównać na długości, zależnej od prędkości pociągów, lecz w każdym razie nie mniejszej niż przechyłka wzięta 375 razy.

*Krzywe przejściowe.* Opisane wyżej urządzenie toru, przy którym linia prosta jest styczna do łuku kołowego, a przejście do toru poszerzonego i do podwyższenia szyny zewnętrznej wykonane jest w linii prostej przed punktem jej styczności z łukiem, nie można uznać za zupełnie prawidłowe. Pochylenie boczne taboru w linii prostej wskutek stopniowego podwyższenia szyny zewnętrznej wywołuje zwiększenie ciśnienia na szynę niżej położoną i, w związku z poszerzeniem toru przed początkiem łuku, wpływa ujemnie na spokój jazdy.

Niedogodności powyższych można uniknąć, jeżeli zmiana krzywizny toru przy przejściu od linii prostej do łuku będzie się dokonywać stopniowo i równocześnie z podwyższeniem szyny zewnętrznej i z poszerzeniem toru. Przy-



Rys. 156.

puśćmy, że przy przejściu z linii prostej na łuk o promieniu  $R$  (rys. 156) ułożono szynę zewnętrzną od  $a$  do  $D$  na długości  $l$  ze spadkiem  $i$  tak, że podwyższenie jej względem szyny wewnętrznej zwiększa się od 0 do  $h$  i w odległości  $x$  od początku podwyższenia wynosi  $z = ix$ . Dla pewnej określonej szybkości ruchu i promienia łuku  $R$  podwyższenie  $h = il$  szyny zewnętrznej nad wewnętrzną, wyznaczone z jednego z wzorów (116), (117) lub (120), otrzymuje się

$$h = \frac{K}{R},$$

przyczem  $K = Ril$  jest wielkością stałą. Ażeby zmienny promień  $\rho$  krzywizny toru w planie przy przejściu od linii prostej, t. j. od  $\rho = \infty$ , do łuku kołowego o promieniu  $\rho = R$  odpowiadał stopniowemu podwyższeniu szyny zewnętrznej, potrzeba, aby

$$\frac{K}{\rho} = z = ix$$

czyli

$$\frac{1}{\rho} = \frac{i}{K} x = \frac{x}{Rl} = \frac{x}{C}$$

gdzie  $C$  jest współczynnik stały,

albo 
$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{x}{C}$$

Oznaczając przez  $\alpha$  kąt, który tworzy styczna z osią odciętych, i biorąc pod uwagę, że przy  $x = 0$   $\operatorname{tg} \alpha = 0$

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{x^2}{2C}$$

i ponieważ przy

$$x = 0, \quad y = 0,$$

$$y = \frac{x^3}{6C} \dots \dots \dots (121)$$

Równanie (121) jest równaniem paraboli trzeciego stopnia, podług której powinna być wykreślona w planie krzywa przejściowa pomiędzy prostą a łukiem kołowym.

Przy  $x = l$

$$y_l = \frac{l^3}{6R}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_l = \frac{l}{2R}$$

$$CD \propto R \operatorname{tg} \alpha_l = \frac{l}{2}$$

Przy  $x = \frac{l}{2}$

$$y_{\frac{l}{2}} = \frac{l^3}{48R} = \frac{l^2}{48R}$$

Zauważmy, że

$$BE = DF - CB.$$

Ze względu na małą wielkość strzałki  $CB$  w stosunku do promienia  $R$

$$CB = \frac{l^2}{8R},$$

a zatem

$$BE = \frac{l^2}{6R} - \frac{l^2}{8R} = \frac{l^2}{24R} = d.$$

Wynika stąd, że dla możliwości połączenia linii prostej z łukiem kołowym o promieniu  $R$  przy pomocy krzywej przejściowej o długości  $l$  potrzeba, aby linia prosta była oddalona od okręgu koła o  $d = \frac{l^2}{24R}$ . Jeżeli poprowadzimy styczną do okręgu koła, równoległą do danej linii prostej, to początek i koniec krzywej przejściowej będą się znajdować w równych odległościach  $\frac{l}{2}$  od punktu styczności i rzędna krzywej przejściowej naprzeciw tego punktu będzie równała się  $\frac{d}{2}$ .

Jeżeli poszerzenie toru powinno się zaczynać od punktu, w którym promień  $\rho = \rho_0$ , to odległość  $x_0$  tego punktu od początku krzywej przejściowej otrzymamy z równania

$$x_0 = \frac{C}{\rho_0}.$$

Co się tyczy współczynnika  $C = Rl = R \frac{h}{i} = \frac{K}{i}$ , to ponieważ  $h$  pozostaje w stosunku odwrotnym do  $R$  i powiększa się w zależności od największej szybkości dopuszczalnej  $V$ , więc współczynnik ten powinien być tem większy, im większą jest szybkość i im mniejsze  $i$ . Z drugiej strony, wraz ze zwiększeniem się  $C$  powiększa się też i długość krzywej przejściowej. Wynika stąd, że na liniach kolejowych pierwszorzędnych, po których przebiegają pociągi kurierskie, współczynnik  $C$  powinien być przyjęty większy, niż na liniach drugorzędnych, i w zależności od tego należy przyjąć również długość wstawek prostych pomiędzy łukami kołowymi, niezbędnych do urządzenia krzywych przejściowych. Jeżeli założymy podług wzoru (120)

$$h = 0,6 \frac{V}{R}, \text{ t. j. } K = 0,6 V$$

$$V = 80 \text{ km/godz.}, i = 0,001,$$

to

$$C = \frac{K}{i} = 48\,000.$$

Na drogach żelaznych dojazdowych o normalnej szerokości toru można przyjąć znacznie mniejszy współczynnik  $C$ , np. w przypadku, gdy  $V = 35 \text{ km/godz.}$  i  $i = 0,002$ ,  $C = 10\,500$ .

Krzywe przejściowe mają szczególnie ważne znaczenie dla łuków ostrych o promieniu 600 m i mniej. Przy dużych promieniach krzywa przejściowa mało odchyła się od łuku koła stycznego do prostej. Tak np., przy  $R = 1000$  i  $C = 48\,000$

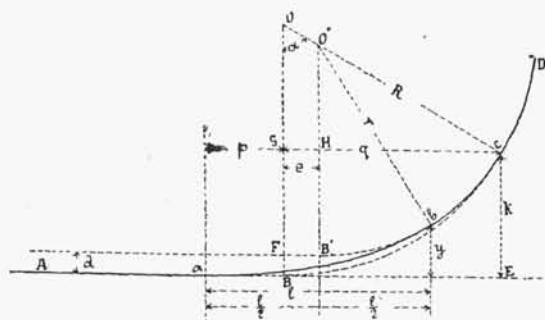
$$d = \frac{l^2}{24R} = \frac{C^2}{24R^3} = \frac{(48\,000)^2}{24(1000)^3} = 0,096 \text{ m.}$$

Im łuk jest ostrzejszy, tem dłuższe jest jego połączenie paraboliczne z prostą i tem większy wypada odstęp  $d$  pomiędzy prostą a łukiem kołowym. Ta okoliczność czyni koniecznem odpowiednie wytknięcie linii kolejowej przy jej budowie. Gdyby to było zaniedbane, należałoby w następstwie dla wytknięcia krzywych przejściowych zmniejszyć promienie łuków kołowych o wielkość  $d$  i tym sposobem przesunąć te łuki ku ich środkom, lub też odwrotnie odsunąć od nich linie proste. W obu przypadkach potrzeba byłoby poszerzać torowisko i urządzone w niem dzieła sztuki.

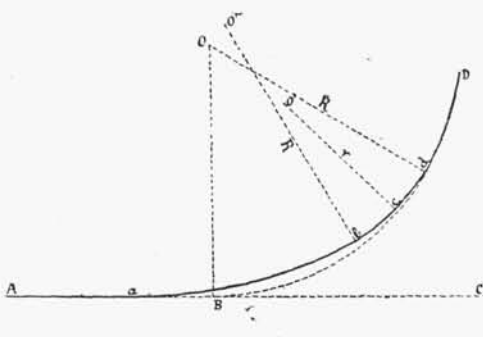
Z drugiej strony, wytykanie krzywych przejściowych już podczas budowy drogi żelaznej, chociaż nie przedstawia szczególnych trudności, jest czasem nieodogodne pod tym względem, że współczynnik  $C$  nie może być odpowiednio wybrany, ponieważ warunki ruchu zmieniają się i wyjaśniają dopiero podczas eksploatacji. Na istniejących drogach żelaznych w Polsce przeważnie nie przewidywano podczas ich budowy urządzenia krzywych przejściowych.

Istnieje kilka sposobów, dających możliwość uniknięcia wymienionych wyżej niedogodności i urządzenia krzywych przejściowych na liniach kolejowych, na których nie były przewidziane przy budowie. Sposoby te wymagają jednak w każdym razie zmniejszenia promienia łuku na większej lub mniejszej długości od punktu stycznej linii prostej z łukiem, w celu otrzymania między nim i prostą niezbędnego odstępu  $d$  dla krzywej parabolicznej (rys. 157). Przy takim urządzeniu unika się wprowadzić nagłej zmiany krzywizny przy przejściu od prostej do łuku, ale zato otrzymuje się nowy skok w punkcie  $c$  przy przejściu od promienia  $r$  do  $R$  oraz zmniejszenie zasadniczego promienia krzywizny na długości  $bc$ .

Aby osiągnąć stopniową zmianę krzywizny zalecano doprowadzać krzywą paraboliczną do pewnego promienia  $r < R$  i odcinek jej  $bc$  (rys. 158) obrócić około osi  $O'c$  tak, ażeby w punkcie  $d$  promienie krzywej przejściowej i łuku kołowego przystały do siebie, mając jednakowy kierunek i wielkość. Jednakże przy tym sposobie promień  $r$  otrzymuje się o 19% mniejszy od  $R$ , gdy tymczasem podług sposobu, uwidocznionego na rys. 157, zmniejszenie promienia wynosi zaledwie 5% do 8%. Tak nieznaczne zmniejszenie krzywizny w punkcie  $C$  nie ma praktycznego znaczenia.



Rys. 157.



Rys. 158.

Wogóle nie należy zapominać, że układanie toru nie może się dokonywać ze ścisłością matematyczną i że istotnym warunkiem skutecznego stosowania krzywych przejściowych jest możliwe uproszczenie ich wytykania, ażeby je uczynić dostępnym dla pracowników kolejowych, mających dozór bezpośredni nad torem. Dla uniknięcia wstrząśnień z powodu nagłej zmiany krzywizny w punkcie styczności prostej z łukiem kołowym, nadzorcy drogowi przesuwają zwykle tor na oko ku środkowi łuku na pewnej długości, w obie strony od punktu styczności. W większości przypadków dostateczne będzie ściślej określić ten pożyteczny sposób, oznaczając wielkość przesunięcia w dwóch lub trzech punktach oraz jego początek i koniec.

Przytem nie jest wcale konieczne, aby pochylenie szyny zewnętrznej przy przejściu od jej położenia normalnego do podwyższonego w łuku było dla wszystkich łuków jednakowe. Aby uprościć wytykanie, można np. postawić za warunek, aby długość krzywej przejściowej była jednakowa dla łuków wszystkich promieni, lub pewnej serii tychże, i aby była tak wybrana, ażeby pochylenie szyny zewnętrznej nie przekraczało pewnej granicy.

Przypuśćmy (rys. 157), że prosta  $AC$ , będąc styczną do łuku kołowego  $BcD$ , jest połączona z nim krzywą przejściową  $abc$  zapomocą zmniejszenia promienia  $R$  do  $r$  na długości  $bc$ . Równanie krzywej przejściowej jest:

$$y = \frac{x^3}{6C} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (121)$$

Odległość  $d$  koła o zmniejszonym promieniu  $r$  od prostej  $AC$ , długość krzywej przejściowej  $l$  i jej rzędne w odległościach  $\frac{l}{2}$  i  $l$  od jej początku, mają następujące wyżej wyznaczone wartości:

$$d = \frac{l^2}{24r} = \frac{C^2}{24r^3},$$

$$l = \frac{C}{r},$$

$$y_1 = \frac{d}{2} = \frac{C^2}{48r^3},$$

$$y_I = 4d = \frac{C^2}{6r^3}$$

Położenie krzywej przejściowej względem punktu styczności  $B$  określa odległość  $FB' = e$  pomiędzy środkami  $O$  i  $O'$  kół o promieniach  $R$  i  $r$  w kierunku stycznej  $AB$ :

$$e = \sqrt{(R-r)^2 - (R-r-d)^2} = \sqrt{2(R-r)d - d^2}.$$

Współrzędne punktu styczności  $c$  kół o promieniach  $R$  i  $r$  względem pierwotnego punktu styczności  $B$  otrzymujemy z trójkątów  $GOc$  i  $HO'c$ :

$$BE = Gc = q = \frac{Re}{R-r}$$

$$E_c = k = R - GO; \quad GO = \frac{R(R - r - d)}{R - r}$$

$$\frac{R - k}{r + d - k} = \frac{R}{r},$$

skąd  $k = \frac{dR}{R-r}$ .

Jeżeli dla danej linii kolejowej przyjąć stały stosunek  $r = nR$  i stałą długość krzywych przejściowych  $l = N$ , wybierając ją tak, aby pochylenie szyny zewnętrznej na tejsze długości nie przekraczało pewnej granicy  $i$ , to wielkości  $e$  i  $q$  mogą być z dostatecznem przybliżeniem przyjęte za stałe, przez co osiąga się znaczne uproszczenia w wytykaniu. Przypuśćmy np., że na danej linii kolejowej najmniejszy promień łuku  $R = 400\text{ m}$ , największa dopuszczalna szybkość pociągów  $V = 65\text{ km/godz.}$  i w zależności od tego największe podwyższenie szyny zewnętrznej, obliczone podług wzoru  $h = 0,7 \frac{V^2}{R}$ , równa się  $0,7 \times \frac{65^2}{400} = 0,114\text{ m}$ . Jeżeli postawimy za warunek, że pochylenie szyny zewnętrznej na krzywej przejściowej nie powinno przewyższać 0,002, to długość tej krzywej będzie:



$$l = \frac{0,114}{0,002} = 57,$$

$$C = lr = 57r,$$

$$d = \frac{l^2}{24r} = \frac{135,375}{r}.$$

Jeżeli dopuścimy zmniejszenie promienia  $R$  łuku kołowego zasadniczego tylko o 5%, to jest do  $r = 0,95 R$ , to

$$d = \frac{135,375}{0,95R} = \frac{142,5}{R}$$

$$e = \sqrt{2(R-r) \cdot \frac{142,5}{R} - \left(\frac{142,5}{R}\right)^2} = \sqrt{14,25 - \left(\frac{142,5}{R}\right)^2};$$

$$\text{przy } R = 400 \text{ m} \quad e = \sqrt{14,25 - (0,356)^2} = 3,758$$

$$\text{przy } R = 1000 \text{ m} \quad e = \sqrt{14,25 - (0,1425)^2} = 3,772$$

Wobec tak małej różnicy można przyjąć średnio:

$$e = 3,765,$$

$$q = \frac{R}{R-r} \cdot e = 20e = 75,3,$$

$$k = \frac{R}{R-r} \cdot d = 20d = \frac{2850}{R}$$

$$y_l = 4d = \frac{570}{R},$$

$$y_{\frac{l}{2}} = \frac{d}{2} = \frac{71,25}{R}.$$

Rzędne krzywej przejściowej mogą być wyrażone w zależności od strzałki łuku kolistego o promieniu  $R$ , którą można zmierzyć bezpośrednio na miejscu. Jeżeli np. tor jest ułożony z szyn o długości 12 m, to strzałka łuku o długości dwóch szyn równa się

$$f = \frac{24^2}{8R} = \frac{72}{R}$$

i w zależności od niej:

$$y_l = \frac{570}{72} f \approx 8f,$$

$$y_{\frac{l}{2}} = \frac{71,25}{72} f \approx f$$

Co się zaś tyczy  $k$ , to jest ono 5 razy większe od  $y_l$ , jednakże rzędnej tej nie potrzeba odkładać, ponieważ punkt  $c$  należy do łuku zasadniczego i znaleźć go można, odkładając jej odciętą  $q = 75,3$ . Tym sposobem wytykanie krzywych przejściowych sprowadza się w danym razie (rys. 157) do następujących czynności:

1) Odkłada się długości  $e$ ,  $\frac{l}{2}$  i  $q$ , które są stałe, bez względu na promień łuku  $R$ .

2) Mierzy się strzałkę  $f$  łuku o promieniu  $R$  i długości  $24\text{ m}$ , przeciągając sznur pomiędzy przeciwległymi końcami dwóch szyn, stykających się z sobą, poczem w odległościach  $\frac{l}{2}$  i  $l$  od punktu  $a$  odkłada się rzędne  $f$  i  $8f$ .

3) Poprawia się krzywiznę łuku pomiędzy punktami  $b$  i  $c$  tak, ażeby strzałka  $f'$  łuku o promieniu  $r$ , długości  $2$  szyn, była o  $\frac{1}{20}$  większa od  $f$ .

Znaczenie *zaokrąglenia przekroju podłużnego linii* w punktach złamania było szczegółowo wyjaśnione przy rozpatrywaniu warunków technicznych projektowaniu linii kolejowej. Jeżeli oznaczmy (rys. 159) przez:

$i$  i  $i'$  pochylenia, przecinające się w punkcie załamania przekroju,

$R$  promień zaokrąglenia,

$f$  odległość zaokrąglenia od wierzchołka kąta załamania przekroju,

$t$  styczną zaokrąglenia,

to podwyższenie lub obniżenie linii kolejowej w punktach złamania przekroju, wynikające wskutek zaokrąglenia, może być w przybliżeniu obliczone podług wzoru:

$$f = \frac{t^2}{2R} = \frac{R}{8} (i \pm i')^2. \quad (122)$$

a długość, na jakiej to podwyższenie lub obniżenie powinno być spowodowane do zera, podług wzoru:

$$t = \frac{R}{2} (i \pm i') \quad (123)$$

Jak widzimy z rys. 159, we wzorach (122) i (123) pochylenia  $i$  i  $i'$  należy dodawać, gdy są skierowane w odwrotne strony (rys. 159 *a* i *b*), i odejmować gdy są skierowane w jedną i tę samą stronę (rys. 159 *c* i *d*).

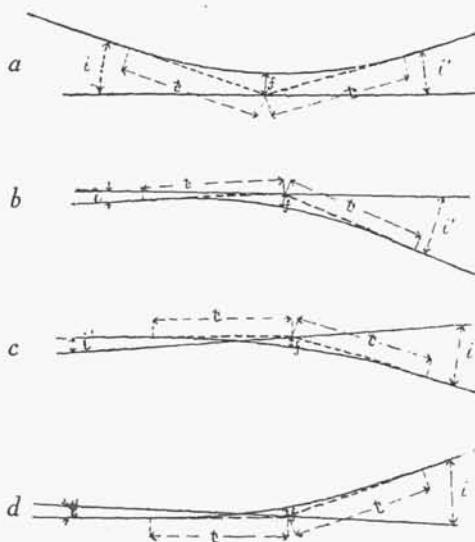
Przepisy o krzywych przejściowych i zaokrągleniu załomów przekroju podłużnego, obowiązujące na polskich drogach żelaznych, podano w p. 1 i 2 rozdz. V na str. 198 i 200.

## ROZDZIAŁ IV.

### Sprężystość budowy wierzchniej.

1. Sprężystość podparcia szyny; jej wpływ na pracę szyny. Przyrządy do badania sprężystych odkształceń toru. Badania fotograficzne na dr. żel. Warszawsko-Wiedeńskiej.

W torze kolejowym należycie zbudowanym wszystkie części składowe powinny pracować w granicach sprężystości. Odkształcenia stałe mogą wywo-



Rys. 159.